

# Kolorimetrie mittelst Vakuumzelle und Kombinationsfilter

Autor(en): **König, H.**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Helvetica Physica Acta**

Band (Jahr): **17 (1944)**

Heft VII

PDF erstellt am: **12.07.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-111522>

## **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.

Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.

Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

## **Haftungsausschluss**

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

# Kolorimetrie mittelst Vakuumzelle und Kombinationsfilter

von H. König (Bern).

(Mitteilung aus dem Eidg. Amt für Mass und Gewicht.)

(4. XI. 1944.)

*Zusammenfassung.* Verwirklichung eines objektiven Empfängers, dessen Empfindlichkeitskurven mit den von der Internationalen Beleuchtungs-Kommission (IBK) festgesetzten Normalreizkurven  $\bar{x}_\lambda, \bar{y}_\lambda, \bar{z}_\lambda$  weitgehend übereinstimmen. Die Bestimmung eines IBK-Farb-Koordinatentripels  $x, y, z$  erfordert 10 Einzelmessungen, die mittelst einer Kalium-Vakuum-Photozelle und 10 Glasfiltern gewonnen werden.

*Aufgabe.* Man ist seit Jahren bemüht, die genormten Funktionen der Photometrie und Kolorimetrie in objektiven Messgeräten unter Ausschaltung des individuellen Auges zu verwirklichen. Die beiden Aufgaben sind deshalb aufs engste verwandt, weil die von der Internationalen Beleuchtungs-Kommission (IBK) 1924 angenommene Hellempfindlichkeitskurve  $V_\lambda^{(1)}$  mit der  $\bar{y}_\lambda$ -Normalreizkurve des 1931 festgelegten kolorimetrischen Standardbeobachters  $(\bar{x}_\lambda, \bar{y}_\lambda, \bar{z}_\lambda)^{(2)}$  identisch ist. Die letzteren drei Funktionen, welche angeben, in welchem Verhältnis spektralreine Lichter gleicher Energie ( $S_\lambda = \text{konst.}$ ) die drei „Normalreize anstossen“, sind in Fig. 1 als ausgezogene Kurven und in Tab. 3 zahlenmässig wiedergegeben. Es sei noch an folgende Definitionen erinnert: Für eine beliebige Energiestrahlung  $S_\lambda$  berechnet man die Komponenten gemäss

$$X = \int_{400}^{700} S_\lambda \bar{x}_\lambda d\lambda, \quad Y = \int_{400}^{700} S_\lambda \bar{y}_\lambda d\lambda, \quad Z = \int_{400}^{700} S_\lambda \bar{z}_\lambda d\lambda \quad (1)$$

und die Koordinaten im Farbdreieck gemäss

$$x = \frac{X}{X+Y+Z}, \quad y = \frac{Y}{X+Y+Z}, \quad z = \frac{Z}{X+Y+Z} \quad (2)$$
$$x+y+z = 1.$$

In der IBK-Normierung kommt das Spektrum konstanter Energie als „Weiss“ in die Mitte des gleichseitigen Dreiecks zu liegen:

$$\int \bar{x}_\lambda d\lambda = \int \bar{y}_\lambda d\lambda = \int \bar{z}_\lambda d\lambda.$$

Verwirklichung. a) Prinzip. Es ist bei den heutigen Verhältnissen schwer, einen Überblick über die Publikationen ähnlichen Inhaltes zu gewinnen. Um den Platz der nachstehend angegebenen Lösung im Rahmen der gesamten Problematik zu bestimmen, gebe

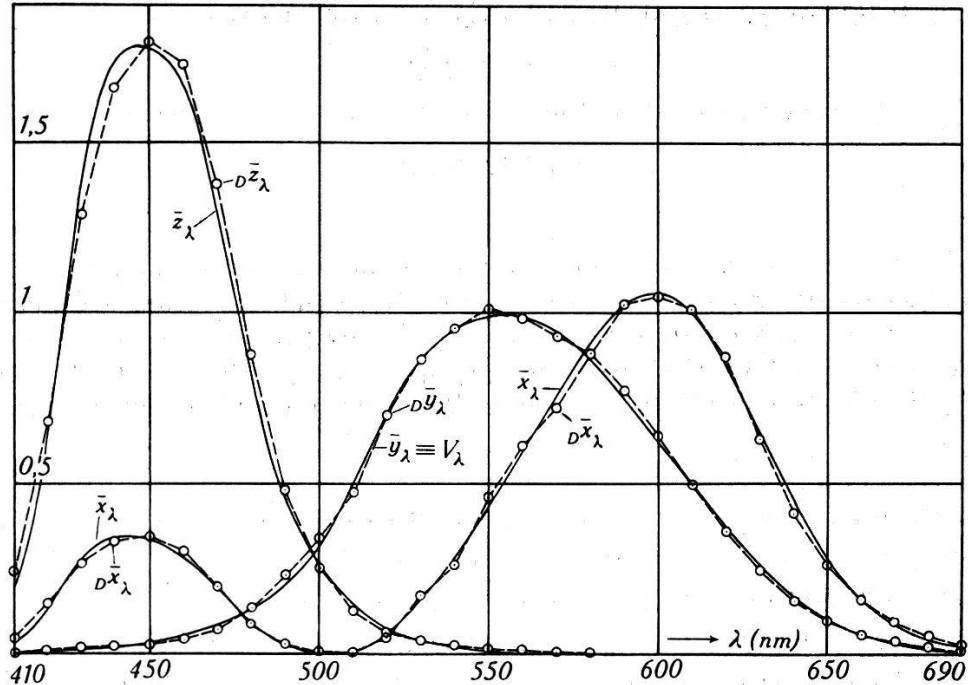


Fig. 1.

Vergleich der realisierten Darstellung  $D\bar{x}_\lambda, D\bar{y}_\lambda, D\bar{z}_\lambda$ , mit den Normalreizkurven  $\bar{x}_\lambda, \bar{y}_\lambda, \bar{z}_\lambda$ .

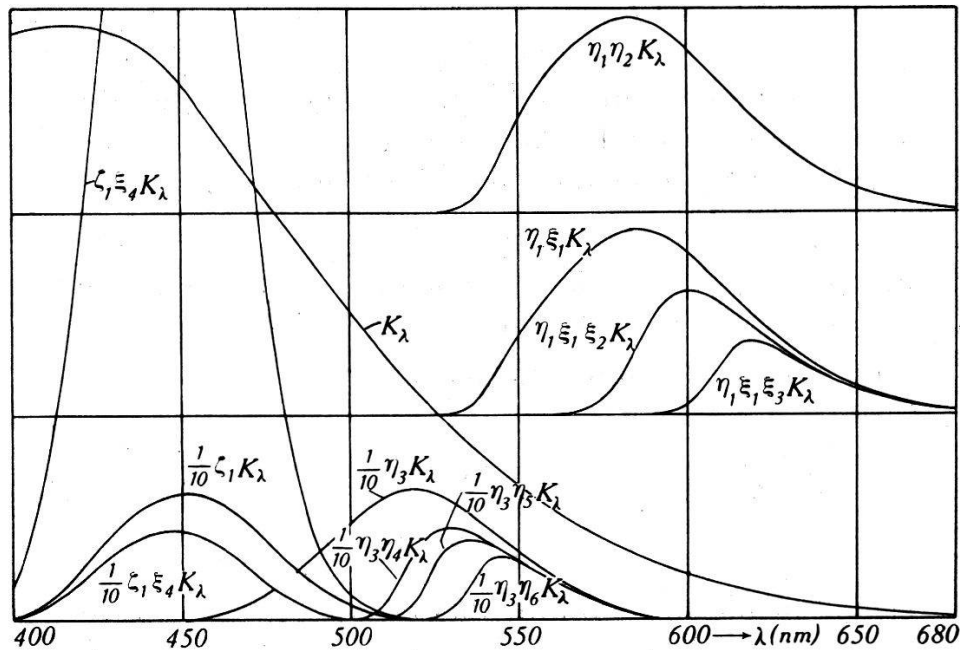


Fig. 2.

Spektrale Empfindlichkeit der 10 Grundkombinationen einschliesslich Kaliumzelle ( $K_\lambda$ ).

ich daher kurz eine schematische Übersicht über die Lösungsmöglichkeiten.

Wir kennen drei wesentlich verschiedene Wege, die zum erstrebten Ziel führen: den rein rechnerischen, den rein geometrischen und den auf reiner Filtrierung beruhenden Weg. Mit andern Worten: Was sich bei der Bildung der Integrale  $X \dots$  auf die spektralen Anteile bezieht, spielt sich entweder *nacheinander*, oder *nebeneinander*, oder *ineinander* ab.

Im *ersten* Fall, dem spektralphotometrischen, werden die  $S_\lambda$ -Werte für die verschiedenen  $\lambda$  *nacheinander* gemessen, alles weitere wird berechnet. Ist  $S_\lambda$ , z. B. für eine Glühlampe, bekannt, so darf dieses Verfahren einstweilen als das genaueste angesehen werden. Die unten in Tab. 4 angegebenen „Sollwerte“ wurden derart gewonnen.

Im *zweiten* Fall wird ein Spektrum entworfen und die vorschriftsmässige Empfindlichkeitsfunktion durch Einbringung einer Blende passender *Form* erzielt. Wie ausbaufähig dieses Prinzip ist, zeigt eine gleichzeitig erscheinende Arbeit von MÄDER<sup>3)</sup>.

Im *dritten* Fall wird der Empfänger durch ein in der Fläche einheitliches *Filter* abgedeckt. GUILD z. B. hat diesen Weg beschrieben<sup>4)</sup>.

Diese drei Prinzipien lassen sich mit Vorteil kombinieren. Fall 2 und 3 bilden die Grundlage der integralen Verfahren. Die Kombinationen in den Fällen 2 und 3 unterscheiden sich dadurch, dass entweder Fall 2 den Ausgangspunkt darstellt und Fall 3 zur Verbesserung herangezogen wird (KÖNIG<sup>5)</sup>, VOOGD<sup>6)</sup>, MÄDER<sup>3)</sup>) oder umgekehrt wie bei DRESLER und FRÜHLING<sup>7)</sup>, wo im Prinzip gefiltert und das einheitliche die Selen-Sperrschichtzelle deckende Filter zur Verbesserung der Anpassung in Streifen mit verschiedener Durchlässigkeit geometrisch aufgeteilt wird.

Gute kolorimetrische Messungen sind stets etwas Delikates. Es ist ratsam, ein paar Messungen mehr zu machen, etwas Zeit aufzuwenden und etwas Rechenarbeit mit in Kauf zu nehmen, wenn damit die Genauigkeit gesteigert werden kann wie hier, wo man die Anpassungsfähigkeit des Empfängers besser ausnützen kann: Es ist nämlich bequemer, Koeffizienten auf dem Papier (Fall 1) als konstruktiv (Fall 2) anders zu wählen, wenn sich die Zellenempfindlichkeit als geändert oder unrichtig bestimmt herausstellt. Aus diesen Erwägungen tendiert die nachstehend beschriebene genau und doch noch praktisch sein sollende Lösung auf das schon oft erprobte<sup>8) 9) 10) 11)</sup> Mehrfilterverfahren hin: Fall 3, zur Verbesserung kombiniert mit Fall 1.

Mit einer Photozelle und verschiedenen zusammengesetzten Vorfiltern werden 10 Einzelmessungen  $a_1 \dots a_{10}$  ausgeführt, aus denen  $X, Y, Z$  als Linearkombinationen der  $a_i$  errechnet werden können. Wir geben sogleich das genaue

b) *Rezept*. Die Photozelle ist eine normale Kalium-Vakuumszelle von Philips, Typ 3510. Die Empfindlichkeitskurve  $K_\lambda$  ist aus Fig. 2 ersichtlich. Die 18 ausgesuchten Schottfilter (40/40 mm) sind gemäss Tab. 1 zu den 11 „Elementen“  $\xi_1 \dots \xi_4, \eta_1 \dots \eta_6, \zeta_1$  ver-

**Tabelle 1.**

Aufbau der 11 Elemente. Typenbezeichnung der Schottfilter und Schmelznummern.

$\xi_1$ : 1 BG 14 (22933) + 2 BG 15 (3012)
$\xi_2$ : 1 OG 3 (45073)
$\xi_3$ : 2 RG 1 (45015)
$\xi_4$ : 1 BG 12 (22870)
$\eta_1$ : 1 RG 6 (25404) + 1 OG 5 (29155)
$\eta_2$ : 2 BG 14 (22933)
$\eta_3$ : 2 VG 4 (41946) + 2 VG 8 (26687)
$\eta_4$ : 2 OG 4 (15064)
$\eta_5$ : 2 OG 1 (44725)
$\eta_6$ : 2 OG 1 (27188)
$\zeta_1$ : 2 BG 7 (21426) + 2 BG 7 (21426) + 1 BG 7 (21426) + 1 BG 1 (23350) + 1 GG 3 (24313)

einigt. Die Zahl vor der Typenbezeichnung bedeutet die Dicke in mm; die Zahlen in Klammern sind Schmelznummern. Vor der Photozelle befindet sich ein Filterkasten mit 3 Führungen. Die auf Hartpapierrähmchen (80/80 mm) montierten Elemente kommen nun in den 10 in Tab. 2 angegebenen „Grundkombinationen“ in diesen Filterkasten. Z. B. bei Messung Nr. 4 ist Grundkombination Nr. 4:  $\eta_1 \xi_1 \xi_2$ , d. h. sind gleichzeitig  $\eta_1, \xi_1$  und  $\xi_2$  im Strahlengang; das Messergebnis in irgend einem Mass ist  $a_4$ . Die Angaben sind absichtlich so ausführlich, dass es möglich ist, sich hiernach einen solchen Empfänger selbst zu konstruieren. Demgemäss sind in Tab. 3 die Durchlässigkeiten der Grundkombinationen in ‰ und in Fig. 2 die Formen der Empfindlichkeitskurven der Aggregate Grundkombination + Zelle wiedergegeben. Die Messwerte  $a_i$  werden nach folgender Vorschrift zu 3 höheren Linear-Kombinationen zusammengefasst:

$$\begin{aligned} X &= k_x(1,32 a_2 + 10,5 a_3 + 9,5 a_4 + 13,7 a_5 + 0,75 a_9) \\ Y &= k_y(0,1 a_2 + 13,2 a_6 + 1,22 a_7 + 0,9 a_8 + 0,7 a_9 + 0,8 a_{10}) \quad (3) \\ Z &= k_z(4,9 a_1 + 0,1 a_7). \end{aligned}$$

**Tabelle 2.**

Grundkombinationen und Koeffizienten. Beispiel: Farbort eines Rotfilters (F 45a) bezogen auf Schwarze Strahlung der Temperatur 2720° K.

Messung Nr.	Grundkombination	Messergebnis	Koeffizienten			Strahlung $S_{\lambda 2720^{\circ}}$ $a_i$ multipl. mit			$S_{\lambda 2720^{\circ}}$ + Filter F 45a $a_i$ multipl. mit				
			$c_{xi}$	$c_{yi}$	$c_{zi}$	$c_{xi}$	$c_{yi}$	$c_{zi}$	$c_{xi}$	$c_{yi}$	$c_{zi}$		
1	$\zeta_1$	$a_1$			4,9	428			2097	0			0
2	$\zeta_1 \xi_4$	$a_2$	13,2	0,1		247	326	25		0			
3	$\eta_1 \xi_1 \xi_3$	$a_3$	10,5			84	882			57	598		
4	$\eta_1 \xi_1 \xi_2$	$a_4$	9,5			153	1453			62	589		
5	$\eta_1 \xi_1$	$a_5$	12,7			283	3877			70	959		
6	$\eta_1 \eta_2$	$a_6$		13,2		280		3696		67		845	
7	$\eta_3$	$a_7$		1,22	0,1	1000		1220	100	2		2	0
8	$\eta_3 \eta_4$	$a_8$		0,9		564		508		2		2	
9	$\eta_3 \eta_5$	$a_9$	0,75	0,7		464	348	325		2	1	1	
10	$\eta_3 \eta_6$	$a_{10}$		0,8		316		253		2		2	
$\Sigma c_i a_i$ . . . . .							6886	6027	2197		2147	852	0
X, ... Sollwerte gem. Formel(1)							9745	8739	2821				
Hieraus $k_x$ , ... als Quotient X + Y + Z; X, ... gemäss Formel (3) . . . . .							1,415	1,450	1,284		1,415	1,450	1,284
Kontrolle ( $\Sigma=1$ ); <i>Koordinaten</i>						1,000	,458	,410	,132	1,000	,712	,288	,000

Hinter diesen Formeln steht die Behauptung, dass die experimentellen Kurven, oder, wie wir sie zusammengefasst nennen können, die *Darstellung*

$$\begin{aligned}
 {}_D \bar{x}_{\lambda} &= k_x (1,32 \zeta_{\lambda 1} \xi_{\lambda 1} + 10,5 \eta_{\lambda 1} \xi_{\lambda 1} \xi_{\lambda 3} + \dots + 0,75 \eta_{\lambda 3} \eta_{\lambda 5}) \cdot K_{\lambda} \\
 {}_D \bar{y}_{\lambda} &= k_y (0,1 \zeta_{\lambda 1} \xi_{\lambda 4} + 13,2 \eta_{\lambda 1} \eta_{\lambda 2} + \dots + 0,8 \eta_{\lambda 3} \eta_{\lambda 6}) \cdot K_{\lambda} \\
 {}_D \bar{z}_{\lambda} &= k_z (4,9 \zeta_{\lambda 1} + 0,1 \eta_{\lambda 3}) \cdot K_{\lambda}
 \end{aligned}
 \tag{4}$$

sich mit den IBK-Kurven  $\bar{x}_{\lambda}$ ,  $\bar{y}_{\lambda}$ ,  $\bar{z}_{\lambda}$  decken. Wie weit dies der Fall ist, zeigen Fig. 1 und Tab. 3. Wenn man bedenkt, wie steil die Kalium-Empfindlichkeit  $K_{\lambda}$  (Fig. 2) gegen Rot hin abfällt, so darf mit dem Erreichten wohl zufrieden sein. Verbesserungen sind, namentlich wenn die Auswahl an Filtern wieder grösser ist, ohne Zweifel möglich.

*Theoretische Beurteilung der Güte der Anpassung.* Mit Hilfe der Formeln (1) werden sowohl für die Sollfunktionen  $x_{\lambda}$  ... als auch für die Darstellung  ${}_D \bar{x}_{\lambda}$  ... die Komponenten X ... und  ${}_D X$  ... der schwarzen Strahlung  $S_{\lambda 2720^{\circ}}$  berechnet. Da die Koeffizienten  $c_{xi}$  ... angegeben und benützt wurden, wie sie sich aus dem halb rechnerischen, halb zeichnerischen Probieren ergeben haben, darf

Tabelle 3.

nm $\lambda$	Normalreizkurven						Filterdurchlässigkeit in ‰								
	Sollwerte			Darstellung			Grundkombinationen								
	$\bar{x}_\lambda$	$\bar{y}_\lambda$	$\bar{z}_\lambda$	$D\bar{x}_\lambda$	$D\bar{y}_\lambda$	$D\bar{z}_\lambda$	$\zeta_1$	$\zeta_1 \xi_4$	$\eta_1 \xi_1$	$\eta_1 \eta_2$	$\eta_3$	$\eta_3 \eta_4$	$\eta_3 \eta_5$	$\eta_3 \eta_6$	
400	14		68	11		51	3	2							
410	43	1	207	53	4	240	14	11							
420	134	4	646	146	11	686	40	32							
430	284	12	1386	266	20	1290	76	59							
440	348	23	1747	330	25	1660	101	75							
450	336	38	1772	346	30	1830	119	83			1				
460	291	60	1669	300	44	1732	122	79			6				
470	195	91	1288	197	76	1380	107	57			19				
480	96	139	813	89	139	883	76	29			46			W	
490	32	208	465	30	234	485	46	11			94				
500	5	328	272	9	343	258	26	4			155	0,5			
510	9	503	158	3	480	130	12	1			229	23	1		
520	63	710	78	50	702	71	5				286	155	47	1	
530	165	862	42	174	867	46	2	$\eta_1 \xi_1 \xi_2$	1	1	308	238	192	31	
540	290	954	20	260	954	28			7	8	296	251	240	167	
550	433	995	9	461	1019	20	$\eta_1 \xi_1 \xi_3$		30	34	254	222	222	202	
560	595	995	4	610	983	13		1	58	64	198	175	176	168	
570	762	952	3	722	932	7		3	89	95	140	125	125	122	
580	916	870	2	877	883	4		24	128	133	92	83	83	81	
590	1026	757	1	1027	774	2	1	84	159	159	52	47	47	46	
600	1062	631		1048	645	1	10	139	180	175	29	26	26	26	
610	1003	503		1014	498		76	159	187	178	14	13	13	13	
620	854	381		871	361		135	160	181	169	5	4	4	4	
630	642	265		636	246		144	153	170	155	0,5	0,5	0,5	0,5	
640	448	175		413	153		137	141	156	138					
650	284	107		264	97		125	128	141	123					
660	165	61		160	57		113	115	126	109					
670	87	32		96	34		101	102	113	96					
680	47	17		54	19		90	91	100	87					
690	23	8		28	10		78	79	87	77					
700	11	4		15	5		68	68	75	69					

man sich nicht wundern, dass sich die berechneten Komponenten nicht paarweise decken. Es ergibt sich

$$k_x(\text{theor}) = \frac{X}{D X} = 1,010, \quad k_y(\text{theor}) = \frac{Y}{D Y} = 1,007, \quad k_z(\text{theor}) = \frac{Z}{D Z} = 0,975.$$

Wenn man im Folgenden die  ${}_D X$ ,  ${}_D Y$ ,  ${}_D Z$  für irgend eine Lichtart bezüglich mit  $k_x$  (theor) . . . multipliziert, so bedeutet das eine berechnete *theoretische Eichung* des Kolorimeters derart, dass die Strahlung  $S_{\lambda 2720^\circ}$  richtig wiedergegeben wird.

Für einen Satz Farbgläser mit den Durchlässigkeitsfunktionen  $\tau_{n\lambda}$  werden nun die Integrale

$$X_n = \int S_{\lambda 2720^\circ} \bar{x}_\lambda \tau_{n\lambda} d\lambda, \dots; \quad {}_D X_n = \int S_{\lambda 2720^\circ} {}_D \bar{x}_\lambda \tau_{n\lambda} d\lambda, \dots$$

berechnet und in obigem Sinn korrigiert. Die gemäss Formel (2) berechneten Koordinaten sind in Tab. 4 als „int. Sollwerte“ und

**Tabelle 4.**

Prüfung des Kolorimeters durch Bestimmung der Farborte einiger Farbgläser, bezogen auf Schwarze Strahlung von  $2720^\circ$  K.

$S_{\lambda 2720^\circ}$ ohne Filter	int. Sollwerte			berechnete W.			gemessene W.		
	$x$	$y$	$z$	${}_D x$	${}_D y$	${}_D z$	${}_D x$	${}_D y$	${}_D z$
	,458	,410	,132	,458	,410	,132	,458	,410	,132
2 BG 12 (F 3) . .	,148	,036	,816	,147	,035	,818	,157	,035	,808
1 BG 12 (F 3a) . .	,157	,112	,731	,157	,113	,730	,158	,108	,734
1 BG 7 (F 1) . .	,265	,415	,320	,264	,417	,319	,261	,415	,324
2 BG 14 (F 4) . .	,348	,418	,234	,346	,421	,233	,344	,420	,236
1 BG 14 (F 4a) . .	,394	,415	,191	,392	,420	,188	,396	,416	,188
1 VG 1 (F 5a) . .	,374	,541	,085	,370	,544	,086	,376	,546	,087
2 OG 2 (F 43) . .	,629	,371	,000	,629	,370	,001	,628	,371	,001
2 OG 3 (F 44) . .	,677	,323	,000	,682	,318	,000	,681	,319	,000
1 RG 2 (F 45a) . .	,709	,291	,000	,719	,281	,000	,712	,288	,000
2 RG 2 (F 8) . .	,726	,274	,000	,731	,269	,000	,726	,274	,000

„berechnete Werte“ angegeben. Der Vergleich lässt die bemerkenswerte theoretische Leistungsfähigkeit des Kolorimeters erkennen: Die Koordinaten werden auf durchschnittlich 0,003 genau wiedergegeben.

*Praktische Beurteilung der Güte der Anpassung.* Eine auf  $2720^\circ \pm 15^\circ$  an die amtliche Farbtemperaturskala angeschlossene Wolfram-Spiraldraht-Lampe wird durchgemessen. Das Beispiel ist in Tab. 2 vollständig angeführt. Die „Bruttowerte“  $\Sigma c_i a_i$  weichen von den oben berechneten internationalen Sollwerten wegen des beliebigen Massstabes ( $a_7$  willkürlich = 1000 gesetzt) erheblich ab. Es wundert uns aber, dass  $k_z = 1,284$  (siehe Tab. 2) ca. 10% kleiner ist als  $k_x$  und  $k_y$ . 3% gehen zu Lasten der oben erwähnten theoretischen Korrektion. Bleiben 7%. Es ist aber zu beachten, dass die



Bestimmung der Empfindlichkeitskurve einer Zelle im Blau recht schwierig und Fehler von 5% am Ende des Spektrums leider leicht möglich sind. Ferner ist die Glühlampenstrahlung nicht vollkommen „schwarz“; die Enden der Wolfram-Kurve können auch bei Lampen, die keine Zerstäubung aufweisen, gegenüber der Planck'schen Kurve gleicher Temperatur 1–3% zu hoch liegen. Wir haben die beiden in Frage kommenden Korrekturen nicht einzeln angebracht, sondern berücksichtigen sie in globo wiederum durch die „Eichung auf 2720° K“, indem alle an den Eich-Farbgläsern gewonnenen Messwerte mit den gemessenen  $k_x$  . . . multipliziert werden. Das Beispiel ist vollständig für das Rotglas 1 RG 2 (amtl. Nr. 45a) angegeben. Die Koordinaten der Eich-Farbgläser gibt Tab. 4 („gemessene Werte“). Die mittlere Abweichung ist, wenn man von dem dunklen Blauglas (integrale Durchlässigkeit 1/2%) absieht, nur 0,003. Etwas überraschend ist der Umstand, dass die Messwerte für F 45a und F 8 besser sind als die auf Grund der Darstellung  $D\bar{x}_\lambda$  berechneten Werte.

*Messtechnisches.* 1. Um den Einfluss der Orts- und Richtungsabhängigkeit der Zellen-Empfindlichkeit auszuschalten, ist das Fenster in der Verspiegelung der Zelle mit einem fein mattierten Celluloid-Streuer bedeckt.

2. Zur Messung des Photostromes dient das entsprechend umgebaute Nanoamperemeter von Siemens (Lichtmarkenelektrometer (6 V Endausschlag), mit eingebauten Hochohmwiderständen von  $1 \cdot 10^9$  und  $5 \cdot 10^9$  Ohm), oder das Elektrometer nach LINDEMANN-BECK mit  $2 \cdot 10^9$  Ohm in Kompensationsschaltung; die in Tab. 2 als  $a_i$  angeführten Zahlen sind Einstellungen an einem 3-Dekaden-Potentiometer der General Radio.

*Vergleichende Bemerkungen.* 1. Ich wage nicht zu entscheiden, ob das beschriebene Kolorimeter als künstliches „Präzisionsauge“ bezeichnet werden darf. Der *praktische* Vorzug ist offensichtlich: Gegenüber Apparaten mit schmalem Eingangsspalt weist es mit seiner 4 cm<sup>2</sup> grossen Öffnung eine viel grössere Empfindlichkeit auf. Der bei Kaliumzellen im Vergleich zu Caesiumzellen sehr niedrige Dunkelstrom gestattet Verwendung hoher Widerstände bei noch gutem Nullpunkt, so dass Pigmente ohne Verwendung *grosser* Projektionslampen untersucht werden können. Hinsichtlich Präzision reicht die beschriebene Lösung nicht an das von MÄDER<sup>3)</sup> auf dem geometrischen Prinzip ausgearbeitete Gerät heran.

2. Es mag zunächst scheinen, als ob die hier mitgeteilten Ergebnisse nur individuellen, *nur* in bezug auf *diese* Zelle und *diese* Filter Bedeutung und Wert hätten. Ich glaube, dass es gerade *nicht*

der Fall ist. Der unbequeme Abfall der Kaliumkurve gegen Rot hin spricht *gegen*, der gute Nullpunkt *für* die Wahl einer Kaliumzelle. Ein Vergleich von 6 uns von Philips freundlichst zur Verfügung gestellten Zellen zeigte eine grosse Gleichartigkeit der Form der Empfindlichkeitskurven. Nur im äussersten Rot schwankten die Werte, bezogen auf gleiches Empfindlichkeitsmaximum, zwischen 1 und 2. Die Hälfte der Zellen war derart, dass bei entsprechend anderer Wahl der Koeffizienten ein Ersatz der Zellen ohne Einbusse an Qualität der Anpassung möglich scheint. Hinsichtlich der Filter ist nur zu befürchten, dass die eine oder andere Schmelze von SCHOTT nicht mehr hergestellt wird. Im allgemeinen wird aber äquivalenter Ersatz geboten. Ich möchte aber nicht verhehlen, dass die hier geschilderte Anpassung nicht erreicht worden wäre, wenn nicht eine grosse Auswahl an 1 und 2 mm dicken Filtern verschiedensten Typus und in einigen Fällen bei gleichem Typ verschiedener Schmelznummer zum Probieren zur Verfügung gestanden hätte. Man darf aber behaupten:

Die Herstellung eines solchen Kolorimeters (und zugleich Photometers) ist im Prinzip jedermann möglich. Darin sehen wir den Hauptvorteil dieser Lösung.

Erneut zeigt sich, dass das von mir wiederholt<sup>8)10)11)12)</sup> empfohlene *Mehrfilter- oder Kombinationsfilter-Prinzip* zu den leistungsfähigsten Kunstgriffen der heterochromen Photometrie und der Kolorimetrie gehört.

#### Literatur.

<sup>1)</sup> Commission Internationale de l'Eclairage, Compte-rendu, Genève 1924 (Cambridge 1926), S. 67.

<sup>2)</sup> Commission Internationale de l'Eclairage, Compte-rendu, Cambridge 1931 (Cambridge 1932), S. 19.

<sup>3)</sup> MÄDER, Helv. Phys. Acta, im Druck.

<sup>4)</sup> GUILD, Journ. of Scient. Instr. **11**, 69 (1934).

<sup>5)</sup> KÖNIG, Helv. Phys. Acta **7**, 433 (1934).

<sup>6)</sup> VOOGD, Philips Techn. Rundschau **4**, 272 (1939).

<sup>7)</sup> DRESLER und FRÜHLING, Das Licht **8**, 238 (1938).

<sup>8)</sup> KÖNIG, Helv. Phys. Acta **8**, 211 (1935).

<sup>9)</sup> SCHMIDT, Ein verbessertes Farbmessverfahren, Diss. Dresden (Leipzig 1935).

<sup>10)</sup> KÖNIG, Helv. Phys. Acta **10**, 165 (1937).

<sup>11)</sup> KÖNIG, Helv. Phys. Acta **16**, 421 (1943).

<sup>12)</sup> KÖNIG, Helv. Phys. Acta **11**, 432 (1938).